JAXA's

［ジャクサス］ July 2015

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構機関誌

No.061

特集
「きぼう」は
Nextフェーズへ!

宇宙と地上
重力環境の違いが及ぼす生命への影響は?
小動物飼育装置

宇宙船外の曝露実験をもっと気軽に!
船外簡易取付機構 ExHAM

高エネルギー宇宙線の
起源&メカニズムを解き明かし、
ダークマターの謎に迫る
高エネルギー電子、ガンマ線観測装置 CALET

油井亀美也宇宙飛行士
いよいよISS長期滞在へ

環境破壊の現状を宇宙からとらえる

高い信頼性を誇るH-ⅡA
改良を加え、世界で勝負!

増大する航空交通量
JAXAが取り組んだ5つの技術
DREAMSプロジェクト成果リポート

ご長寿衛星「あけぼの」「TRMM」
寿命を大きく超えて活躍したふたつの長寿衛星

研究開発の現場から
望遠鏡を丸ごと-265℃以下に冷やします
次世代赤外線天文衛星SPICAの断熱放射冷却構造

No.061
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構機関誌

INTRODUCTION

今号は「きぼう」日本実験棟を特集しました。「きぼう」は3回に分けて打上げ、2009年7月に完成しました。人が宇宙で活動できる実験棟を日本の力で初めて開発しました。宇宙機はほとんどがそうですが、すべてが初物のシステムは初期故障がつきものなので、最初、関係者一同がかたずをのんで見守るなか、「きぼう」のシステムや実験装置は、拍子抜けするほど、トラブルもなく順調に機能しました。それから6年がたち、実験装置も増えてきましたが、今回、さらにいくつかの新しい実験装置が追加になり、また、「挑む」心を胸に油井宇宙飛行士が長期滞在に臨みます。

今号から、グラフィックを充実し、読みやすく、わかりやすくを追及しましたので、楽しく読み進んでいただけると幸いです。

国立研究開発法人になって

2015年1月に新たな宇宙基本計画が策定され、「宇宙安全保障の確保」、「民間分野における宇宙利用の推進」、「宇宙産業及び科学技術の基盤の維持・強化」が宇宙政策の目標として示されました。「政府全体の宇宙開発利用を技術で支える中核的実施機関」であるJAXAの役割はますます重要なものとなっているなか、2015年4月には国立研究開発法人として新たな一歩を踏み出しました。

宇宙航空分野の研究開発力のさらなる強化はもちろんのこと、様々な異なる分野の知見を取り入れ、開かれたJAXAとして運営し、国立研究開発法人の設立趣旨である日本全体としての研究開発成果最大化を目指します。JAXAは、これまで取り組んできた技術の発展・先導、社会課題解決による価値創造をさらに大きな視点でとらえ、加速していく覚悟で邁進していまいります。

これからも皆様のご支援、ご協力をお願いします。

2015年7月

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
理事長　奥村直樹

JAXA's では、JAXAが取り組む3つの分野での活動をご紹介していきます。

1 安心・安全な社会を目指す「安全保障・防災」
2 宇宙技術を通して日本の産業に貢献する「産業振興」
3 宇宙の謎や人類の活動領域の拡大に挑む「フロンティアへの挑戦」です。

CONTENTS

表紙画像:船外活動で撮影された地球と「きぼう」
©JAXA/NASA
ソユーズ宇宙船の最終試験に臨む油井宇宙飛行士
©JAXA/NASA/Bill Ingalls

「きぼう」はNextフェーズへ!

日本の科学技術戦略・施策に貢献
宇宙利用技術の獲得と産業競争力の強化に貢献
民間企業の宇宙利用の拡充・本格化を可能に

宇宙と地上
重力環境の違いが及ぼす生命への影響は?
小動物飼育装置

宇宙船外の曝露実験をもっと気軽に!
船外簡易取付機構 ExHAM

高エネルギー宇宙線の起源&
メカニズムを解き明かし、
ダークマターの謎に迫る
高エネルギー電子、ガンマ線観測装置 CALET

油井亀美也宇宙飛行士
いよいよISS長期滞在へ

フロンティアへの挑戦
産業振興
安全保障防災

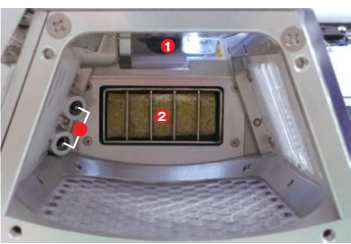
国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟では、さまざまな研究が行われています。
地上では実現が困難な結晶成長実験や物理現象のメカニズム解明などを行う物質科学研究、宇宙環境が生命に与える影響を調べ、病気の治療や創薬にも役立てる生命科学研究、宇宙環境が人体に与える影響を調べる宇宙医学研究などです。
油井亀美也宇宙飛行士が長期滞在する、宇宙空間にさらされた「きぼう」船外実験プラットフォームには、宇宙の謎の解明や地球環境の監視を行うための観測装置が設置されています。さらに宇宙用材料の耐久性を実証できる実験も行われます。
今、「きぼう」の利用環境は新たなフェーズを迎え、国の戦略的な研究開発へのさらなる貢献を目指しています。新時代の「きぼう」利用の例として、本号では、小動物飼育装置MHU、高エネルギーの宇宙線を観測する高エネルギー電子、ガンマ線観測装置CALET、宇宙空間での曝露実験が可能な船外簡易取付機構ExHAMを紹介します。

聞き手:寺門和夫(科学ジャーナリスト)

画像：JAXA/NASA

宇宙と地上 重力環境の違いが及ぼす生命への影響は？

【小動物飼育装置】
Mouse Habitat Unit : MHU

**「きぼう」日本実験棟ではこれまで細胞、微生物、植物、さらにはメダカやゼブラフィッシュを用いたライフサイエンス実験が行われてきました。
今年の夏、「こうのとり」5号機で「きぼう」に運ばれる小動物飼育装置MHUは、宇宙でのライフサインエンス実験を、よりヒトに近いマウスで行うための装置です。
無重力環境と人工重力環境での影響を長期間にわたって厳密に比較できる、世界で初めての装置です。**

白川正輝
SHIRAKAWA Masaki
有人宇宙技術部門
きぼう利用センター
技術領域リーダ
主幹開発員

飼育ケージの内部。
❶照明・カメラ ❷給餌口
❸給水口（2個）

宇宙でマウスを長期間飼育する

―小動物飼育装置とは、どのようなものですか。

白川　日本が2016年以降もISS計画に参加していくことを基本として必要な取組を推進することを決定したことを受け、2020年までの「きぼう」利用シナリオが検討されました。生命科学分野では、無重力環境での骨や筋肉量が短期間で減少する特徴を生かして、大学や企業の研究で使われるマウスなどの小動物を取り扱った実験装置を「きぼう」に設置することが必須と位置づけられました。マウス等の小動物は、基礎研究からヒトへの応用まで実験用の動物として汎用性が高いからです。そこでJAXAで開発したのが、小動物飼育装置です。

　この装置の最大の特長は、無重力環境で飼育したマウスと、人工重力環境で飼育したマウスを、比較できることです。飼育ケージは全部で12個あり、マウスを各ケージに1匹ずつ入れます。このケージを6個ずつ「きぼう」の細胞実験装置CBEFの上段と中段にセットします。上段は無重力環境です。中段は遠心力によって地上と同じ1Gの人工重力環境をつくることができます。

―どのくらいの期間、飼育することができますか。

白川　輸送機の往復のスケジュールから当初は30日間の飼育を考えていますが、ケージを交換すれば6か月間ぐらいまでは飼育が可能です。

―マウスの飼育は、ISSですでに行われていますか。

白川　NASAは2014年からマウスの実験等を行っています。イタリアも2009年に「きぼう」に設置されたイタリアが開発した実験装置で宇宙実験を行ったことがあります。これらの海外の実験装置と大きく異なる特徴として、JAXAの実験装置は、無重力環境と人工重力環境の両方で同時に宇宙で飼育できる点があります。生き物が環境変化にどのように対応しているかを正確に見て、ヒトへの応用を考えていくためには、宇宙で重力のあり無しを同時に比較することが重要なのです。

飼育ケージにこめられた様々な工夫

―JAXAは宇宙でメダカを飼う水棲生物実験装置（AQH）をすでに開発していますが、マウスを飼育するには、また別の難しさがあったのでしょうね。

白川　マウスを健康な状態で維持するために、いろいろな実験を繰り返しました。AQHでは餌をテープに貼りつけ、テープを動かして給餌しましたが、今回は1週間分の餌を一体成型し、バネで押して、少しずつケージ内に出す方法にしてあります。

―給水はどうするのですか。

白川　医薬品注入用のバッグを使っています。風船と同じように収縮する力を使って水を押し出します。給水口には突起があり、マウスがこれを上げると水が出る仕組みになっています。無重力下で餌を食べたり、水を飲んだりするには足場がないと難しいので、ハンドルのようなものもつけてあります。とにかく、そのへんをいろいろ試行錯誤しました。

―排泄物の回収はどのようにしますか。

白川　ケージ内はファンによって上から下に風が流れるようにしてあります。そのため、排泄物は無重力においても自動的にケージの下にたまるようになっています。

―カメラもついていますね。

白川　マウスの行動を観察するためのビデオカメラです。1週間くらいたつと尿などで観察面が汚れて見えなくなってしまうので、自動車のワイパーのようなものをつけ、地上からのコマンドで掃除できるようにしています。

―なるほど。いろいろな工夫がありますね。1匹ずつケージに入れて飼育する理由は何ですか。

白川　限られた匹数の飼育なので、飼育の条件を揃え体重の増加などの成長のばらつきをなるべく抑えることができるという科学的なメリットや、環境条件や行動を詳細に記録できること、性別や系統の違うマウスを同時に飼育できる利点があると考えています。

―AQHを運用することによって得た、動物を飼うためのノウハウがかなり生かされていますね。

白川　そう思います。効率よく飼育ができるよう軌道上の作業を細かく分析して、クルーが作業する時間も省力化しました。地上からもってきたマウスを飼育ケージに入れた後は、1週間に1度、餌カートリッジの交換、給水バルーンへの水補給、フィルタ交換、排泄物の回収を行うだけです。

エピゲノム研究に大きな期待

―この装置を使って、どのような実験を行う計画でしょうか。

白川　宇宙に行ったマウスにどのような変化が起こるかを、遺伝子レベルで網羅的に調べます。最初の実験の代表研究者は、筑波大学教授の高橋智先生です。雄のマウス12匹を米国のドラゴン宇宙船で打ち上げ、ドラゴンがISSにドッキングしている約30日間、「きぼう」で飼育します。飼育

軌道上でのマウスの飼育。飼育ケージを6個ずつ「きぼう」の細胞実験装置(CBEF)の上段(無重力環境)と中段(人工重力環境)にセットして飼育する。

給水器
LED照明・カメラ
給餌器
温度センサ
観察窓
臭気フィルタ
飼育ケージ
排泄物回収器
ケージ・ドア

飼育ケージ。軌道上で1匹のマウスを約30日間飼育することができる。

中はマウスの睡眠や摂食行動などを観察します。その後、ドラゴンが地球に帰還するときに一緒に回収します。回収したマウスをすぐに研究室に運び、神経系、循環器系、免疫系、内分泌系、生殖器系、運動器系、骨系、前庭系など各臓器を調べます。組織の変化なども調べますが、遺伝子発現の増減やエピゲノムの変化を調べるのが大きな目的です。

——ゲノムの配列を変化させずに、遺伝子の働きを制御している仕組みをエピジェネティクスといい、医学の分野で非常に注目されています。エピゲノムの変化を調べるというのは、宇宙環境によってこの働きに起きた変化を見たいわけですね。

白川　そうです。さらに宇宙で飼育したマウスの精子を介して、その影響が次世代に伝わるかどうかも調べます。宇宙環境によってエピゲノムが変化したという報告はまだありませんが、遺伝子の発現は変わりますから、エピゲノムも当然変化していると考えています。

——どのような成果を期待していますか。

白川　エピゲノムの変化は疾患と関係しています。宇宙でのマウス実験によって疾患に結びつくエピゲノム情報を蓄積し、宇宙飛行士のデータと比較することなどにより、がん、慢性疾患、ストレスなどの予防・診断・治療法の実現に貢献できると考えています。再生医療のゲノム研究や高齢者の骨減少、筋萎縮、めまいなどの予防にも役立つでしょう。また、新たな疾患モデルマウスの確立や創薬等への貢献も考えられます。国が進める戦略的な研究開発に貢献できると考えています。

宇宙船外の曝露実験をもっと気軽に!

【船外簡易取付機構 ExHAM】

Exposed Experiment Handrail Attachment Mechanism

渡辺英幸
WATANABE Hideyuki
有人宇宙技術部門
有人宇宙技術センター
主任開発員

簡易曝露実験装置(ExHAM)
「きぼう」船外取付け可能位置(□)

タイプ1の搭載サンプルは、上面に7個、側面に13個を搭載することができます

——ExHAMの特長は何でしょう。

渡辺　ExHAMは、私たちがユーザーからあずかった材料を宇宙空間に何年もさらして、実験するための装置です。こういう曝露実験は今までも行われてきましたが、宇宙飛行士が船外に取り付け、回収する必要がありました。ExHAMは船外活動なしに、「きぼう」のエアロックとロボットアームを使って船外に取り付け、回収することができるのが特長です。そのため、〝気軽に〟宇宙曝露実験ができるようになりました。サンプルのサイズは10cm×10cm×2cm(タイプ1)か10cm×20cm×2cm(タイプ2)です。これを打ち上げて軌道上でExHAMに取り付けます。タイプ1のサンプルであれば、ExHAMの上面に7個、側面に13個を取り付けることができます。サンプルはユーザーのご希望の期間、宇宙空間に曝露した後に回収し、ユーザーのお手元に戻します。

——実験はもう始まっていますか。

渡辺　5月26日に実験を開始しました。今回は6テーマの実験が行われています。宇宙用材料の曝露実証の他、宇宙塵を捕獲して有機物や微生物が惑星間空間を移動していないかを調査したり、星間空間での有機物の進化を調べるといった実験もあります。

——材料の曝露実験をするというだけではないのですね。

渡辺　企業の方々には、時間とコストをかけずに先進的な宇宙実証をしていただきたいと考えていたのですが、いざ公募をしてみたところ、私たちが想像もしていなかったようなテーマも出てきました。

——今後はどうなりますか。

渡辺　ExHAMの2号機が今年の夏、「こうのとり」5号機で打ち上がる予定です。そうすれば、今秋から4テーマの実験を開始予定です。2台のExHAM上で毎年サンプルを入れ替えて実験を続けられます。現在、ユーザーを募集中です。

【高エネルギー電子、ガンマ線観測装置 CALET】

CALorimetric Electron Telescope

「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームに取り付けられるCALETは、これまで観測されたことのない非常に高いエネルギーの領域で宇宙線を直接観測し、宇宙の謎の解明に挑みます。

鳥居祥二
TORII Shoji
早稲田大学理工学術院
総合研究所教授

―CALETは何を調べる装置ですか。

鳥居　私たちが研究の対象にしているのは、非常にエネルギーの高い宇宙線です。質量の大きな星は、その最後に超新星爆発を起こし衝撃波が発生します。その時のエネルギーによって粒子が加速され、宇宙線として地球にやってくるのです。

パルサーも粒子を加速していると考えられています。パルサーは超新星爆発の結果、中心に残った天体です。磁場をもっていて高速で回転しています。そのためにできた電場によって粒子が加速されています。CALETでは非常にエネルギーの高い領域でそれらの粒子をとらえ、粒子がどのようにして加速されるのか、それがどのように宇宙空間を伝わってくるのかを調べます。

―なぜ、宇宙から観測する必要があるのでしょうか。

鳥居　高エネルギーの宇宙線が大気中に入ってくると、窒素や酸素などに衝突し、新たな粒子をつくります。その粒子がさらに衝突して新たな粒子をつくる。このようにして、多くの衝突を繰り返して地表に達します。

私たちは宇宙線そのものを観測したいので、これまでは気球を上げて、高度35kmくらいで観測してきました。しかし、それでもまだ空気の影響を受けるだけでなく大型装置による長時間観測ができません。大気にまったく影響されずに、しかも大規模な宇宙線観測を実現するには、「きぼう」の船外実験プラットフォームは絶好の場所なのです。

宇宙からでなければ調べられない謎がある

―エネルギーが高い領域というのはどのくらいで、その観測の意義は何でしょうか。

鳥居　粒子のエネルギーは「電子ボルト」という単位であらわします。私が申し上げているエネルギーの高い領域というのは、1テラ（兆）電子ボルトよりも上の領域です。宇宙からは、それ以上のエネルギーを持つ宇宙線が飛んできていることはすでに知られていますが、まだその詳細な様子は分かっていません。

CALETは、そのような高エネルギー領域で宇宙線を直接かつ高精度に観測ができる世界で最初の装置です。特に、1テラ（兆）電子ボルトを越える電子は、比較的最近に爆発し、地球から近いところにある超新星残骸からのみ地球に到達できますが、そのような候補となる天体は3つしかありません。

このため、そのような電子を精密に観測することができれば、電子加速源である天体を世界で始めて直接的に決めることができます。

―ダークマター（暗黒物質）についても、何かわかるのではないかといわれていますね。

鳥居　ダークマターは存在することはわかっていますが、正体はわかっていません。非常に重いまだ未発見の素粒子が有力な候補と考えられています。その重い粒子同士が衝突し、質量がほとんどエネルギーに変わる「対消滅」という現象が起こると、高エネルギーの素粒子が生まれて飛んできます。そのエネルギーが1テラ（兆）電子ボルトくらいではないか、という理論的予測があります。

CALETでそのような粒子をとらえることができれば、ダークマターについて非常に重要な知見が得られることになります。

及川幸揮
OIKAWA Koki
有人宇宙技術部門
有人宇宙技術センター
CALETプロジェクトマネージャ

―CALETの開発で苦労した点はどこですか。

及川　これまで誰も観測したことのないものを観測する、とてもチャレンジングなミッションです。鳥居先生をはじめ研究者の方々は、これまで高山に登ったり、気球を飛ばしたりして宇宙線を観測してきました。そうした豊富な経験や技術を生かしながら、どうやって打ち上げ時や宇宙環境で観測できる装置をつくり上げていくか。メーカーの方も入れていろいろディスカッションしました。重量やサイズの制限もありました。

カロリメータは高エネルギーから低いエネルギーまで、高い精度で観測できなければいけません。どうやってノイズを抑えるかも苦労しました。

佐野　宇宙線が入ってくるとセンサーの結晶が光ります。それを電気信号に変換し、増幅してデジタル処理するのですが、その光自体が非常に微弱なんです。そのため、ノイズの影響を受けやすいのです。

―ほかにもありますか。

及川　カロリメータの下段の「全吸収型カロリメータ」では、タングステン酸鉛という透明な結晶を使っています。長さ32㎝、重さ1㎏くらいの角柱を200本近く、縦横に重ねてあります。この結晶は、そのままでは打ち上げの時の振動で割れてしまいます。そこで結晶ホルダーの四隅に細長いシリコンのゴムを挿入して、振動を吸収するようにしました。

「きぼう」だからこそ実現できる世界最先端の観測ミッション

佐野　結晶自体も、つくるときに不純物が残ったり、気泡が入ったりする。きれいにできたものを大型の研磨機で削って角柱にする。とにかく時間がかかるし、割れやすいので取り扱いが難しいのです。

―「こうのとり」5号機でISSに運び、「きぼう」のロボットアームを地上から操作して船外実験プラットフォームに取り付けるのですね。

及川　9番という先端にあるポートに取り付けます。ここですと、先生方が希望している天頂から45度の視野が得られます。CALETを人工衛星で打ち上げるとなると、推進系とか太陽電池パドルとか衛星バスの機能が必要になりますが、船外実験プラットフォームに設置すれば、必要な電源系や冷却系はISS側から提供されます。観測装置の開発だけでミッションを行えるのが、船外実験プラットフォームを利用するメリットですね。

佐野　及川プロジェクトマネージャも私も、ExHAMを担当する渡辺も、「きぼう」を開発してきたメンバーです。「きぼう」の運用が始まり、CALETのような観測ミッションに使われるのはやはり感慨深いものがあります。科学界に大きな影響を与える成果を出し、「きぼう」ではいろいろな成果が出ていることを多くの方にわかっていただければと思っています

佐野伊彦
SANO Tadahiko
有人宇宙技術部門
有人宇宙技術センター
CALETプロジェクトチーム
ファンクションマネージャ

ダークマターの粒子同士が衝突し、そのほとんどがエネルギーに変わると、高エネルギーの電子と陽電子がつくられる。

超新星残骸
質量の大きな星が最後に超新星爆発をおこしてできる。

パルサー
超新星爆発でできた高速で回転する天体。

高エネルギー宇宙線の起源&メカニズムを解き明かし、ダークマターの謎に迫る

CALET：CALorimetric Electron Telescope

「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームに設置される。大気の影響を受けることなく、宇宙空間から長期間、高エネルギーの宇宙線を観測することができる。
CALETは米国、イタリアとの国際共同プロジェクト。

ガンマ線バーストモニタ（CGBM）
軟ガンマ線モニタ（SGM）　硬X線モニタ（HXM）

カロリメータ
CALETミッションのメイン検出器

上段：**電荷測定器（CHD）**
入射した粒子の電荷を測定する。

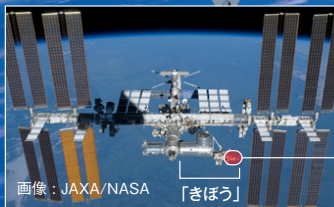
中段：**イメージングカロリメータ（IMC）**
1mm角のファイバー7000本で、シャワーとなっていく粒子が飛来した方向を精密に測定する。

下段：**全吸収型カロリメータ（TASC）**
タングステン酸鉛結晶シンチレータ（PWO）によりシャワーをすべて吸収し、シャワーの発達の様子や粒子のエネルギーを測定する。

大気中でシャワーになる高エネルギー宇宙線
大気中に進入した高エネルギーの宇宙線は酸素や窒素などと衝突し、次々と新たな粒子をつくりながらシャワーとなって地上に降り注ぐ。高山や気球で宇宙線を観測しても、大気の影響を完全になくすことはできない。

CALETが取り付けられる場所
「きぼう」
画像：JAXA/NASA
国際宇宙ステーション

進化する「きぼう」、進化するISSで限界に挑戦!

油井亀美也宇宙飛行士、いよいよISS長期滞在へ

油井亀美也宇宙飛行士を乗せたソユーズ宇宙船TMA-17Mは、7月23日にバイコヌール宇宙基地から打ち上げられる予定です。油井宇宙飛行士のISS長期滞在は、日本人宇宙飛行士としては通算6回目の長期滞在。ISSの宇宙環境を利用した実験、ISSの各システムの運用・維持管理、ロボットアームの操作、ISSにドッキングした補給機の物資の搬入出、広報イベントなど多岐にわたる作業に取り組みます。

取材：寺門和夫（科学ジャーナリスト）

画像：JAXA/GCTC

ロシアのガガーリン宇宙飛行士訓練センターでソユーズ宇宙船の操縦訓練を行う油井宇宙飛行士

不測の事態にはコマンダーに代わって宇宙船を操縦

油井宇宙飛行士は大西卓哉宇宙飛行士、金井宣茂宇宙飛行士とともに2009年、JAXAの宇宙飛行士候補者に選ばれました。その後、NASAでの訓練を経て2011年7月にISS搭乗宇宙飛行士として認定されました。2012年10月にISS第44次/第45次長期滞在クルーに指名され、訓練を続けてきました。

「きぼう」が完成し、運用を開始したのは2009年7月です。「きぼう」運用開始後に選抜された油井宇宙飛行士らは、日本の宇宙活動にとって新世代の宇宙飛行士といえます。

油井宇宙飛行士と一緒に飛ぶクルーは、ロシアのオレッグ・コノネンコ宇宙飛行士、NASAのチェル・リングリン宇宙飛行士です。コノネンコ宇宙飛行士は今回が2回目の長期滞在になります。リングリン宇宙飛行士は油井宇宙飛行士、大西宇宙飛行士、金井宇宙飛行士と同じNASAの2009年アスキャン（宇宙飛行士候補者）養成クラスの仲間です。

ソユーズ宇宙船での打ち上げの際、油井宇宙飛行士は左側の座席に座ります。左座席の宇宙飛行士（レフトシーター）は、真ん中の席に座るソユーズ宇宙船コマンダー（コノネンコ宇宙飛行士）を補佐し、不測の事態にはコマンダーに代わって宇宙船を操縦する任務を負っています。

ソユーズ宇宙船はかつて打ち上げ後2日間をかけてISSにドッキングしていました。しかし、2013年からは打ち上げ6時間後にドッキングできるようになっています。クルーも地上のチームも打ち上げ後忙しい時間が続きますが、狭い宇宙船内でクルーが長時間を過ごす必要はなくなりました。

「きぼう」の利用は新たなフェーズへ

「きぼう」では、宇宙環境を利用したさまざまな科学実験が行われています。油井宇宙飛行士が滞在中に計画されている実験には、生命科学分野では、植物が重力を感じて応答する仕組みを解明する実験、線虫を用いた老化に関する実験、宇宙放射線が細胞に与える影響を調べる実験、物質・物理科学分野では、噴射した水が微粒化する様子を調べる実験、表面張力によっておこるマランゴニ対流の実験、宇宙医学分野では長期滞在のリスクを低減させるための実験などがあります。

「きぼう」ではこうした基礎研究にとどまらず、創薬を目指すタンパク質結晶成長実験、船外実験プラットフォームに設置した簡易曝露実験装置ExHAM（本号5ページ）による材料の宇宙環境での耐久性評価など産業力強化や技術開発をめざす実験も行われています。また、宇宙利用促進に貢献する超小型衛星の放出も引き続き行われます。

8月に打ち上げられる宇宙ステーション補給機「こうのとり」5号機によって、

ガガーリン宇宙飛行士訓練センターでソユーズ宇宙船の最終試験に臨む第44次/第45次長期滞在クルー。左からアメリカのチェル・リングリン宇宙飛行士、ロシアのオレッグ・コノネンコ宇宙飛行士、そして油井宇宙飛行士。

画像：JAXA/NASA/Bill Ingalls

「きぼう」には小動物飼育装置（本号4～5ページ）、静電浮遊炉、高エネルギー電子・ガンマ線観測装置CALET（本号6～7ページ）が運ばれます。小動物飼育装置は疾病の研究や新薬の研究に活用されます。静電浮遊炉は材料を静電気で浮遊させ、2000℃という高温にまで加熱できる装置で、工業的価値の高い材料の研究が行えます。CALETは高エネルギー宇宙線や暗黒物質を観測します。こうした実験・観測装置によって、「きぼう」の利用環境も新しいフェーズへと入っていきます。

ISS自体にも将来の宇宙探査に向けた動きが

油井宇宙飛行士が長期滞在するISS自体にも、将来に向けたいろいろな動きがあります。

現在、ISSに滞在中のアメリカのスコット・ケリー宇宙飛行士とロシアのミカエル・コニエンコ宇宙飛行士は1年間の長期滞在ミッションに挑んでいます。長期の宇宙滞在が人間の体にどのような影響を与えるかを調べ、将来の月・小惑星・火星への有人探査に向けた知見を得るためのものです。日本もこの研究に参加しています。

油井宇宙飛行士が滞在中に、モジュールの移動なども行われ、2011年のスペースシャトル退役後初めて、ISSはその形態を変えます。

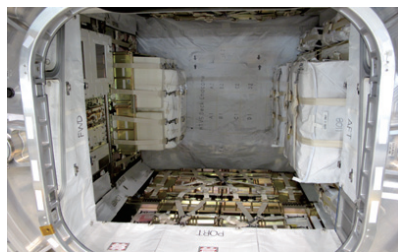
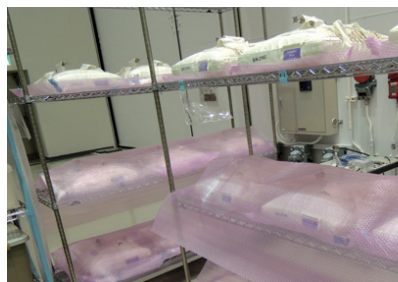
「こうのとり」やアメリカの商業貨物補給機（ドラゴン、シグナス）はハーモニー・モジュールの地球側にドッキングしますが、ユニティ・モジュールの地球側を2つ目のドッキング個所とすることになりました。このため、現在ここに結合され、物資の保管などに使われているPMM（恒久的多目的モジュール）はトランクウィリティー・モジュールの前方側に移設されます。

2017年ごろにはアメリカの商業宇宙船によるクルー輸送がはじまります。そのため、ISSの先端にはIDA（国際ドッキングアダプター）が取り付けられます。さらに予備のドッキング個所がハーモニーの上部につくられる予定です。

アメリカ、ビゲロー社の空気膨張式モジュールBEAMも運ばれてきます。BEAMはトランクウィリティーの後方側に結合され、将来の居住モジュールとしての実証試験が行われます。

油井宇宙飛行士は〝挑む〟をテーマに、「自分の限界や『きぼう』日本実験棟の性能の限界に挑みたい」と、ISS長期滞在に向けた抱負を語っています。宇宙環境利用の新しい時代へ進化を遂げるISSや「きぼう」が、油井宇宙飛行士の活躍の舞台となります。

宇宙ステーション補給機「こうのとり」5号機の全景

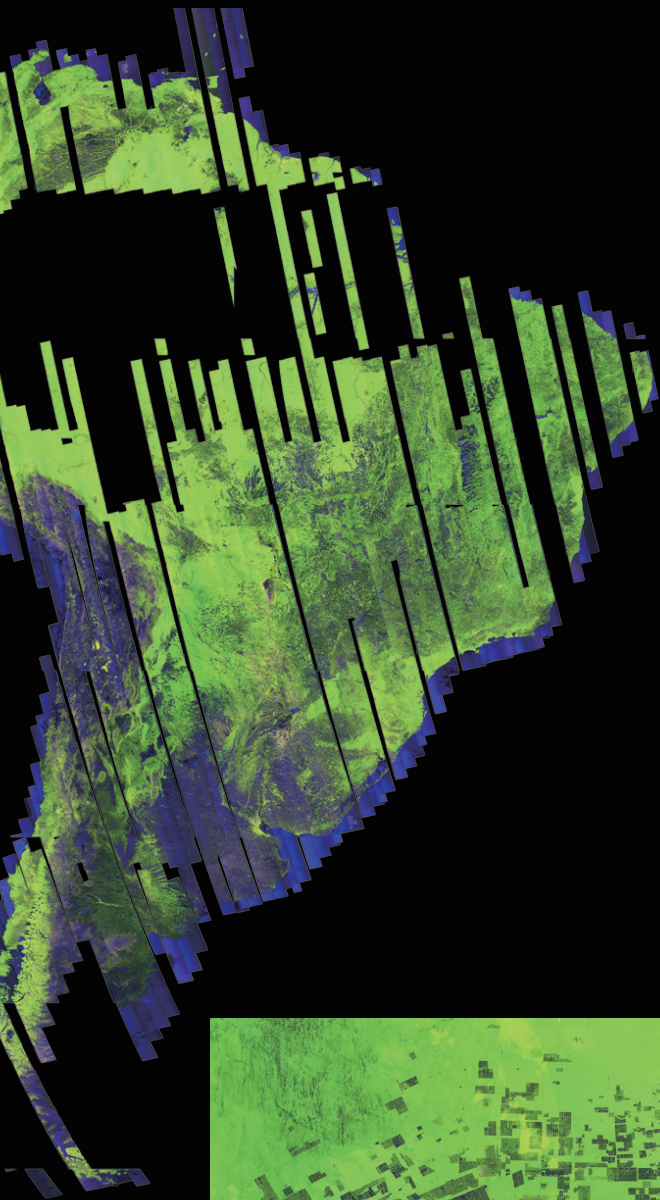
「こうのとり」5号機は8月16日に打ち上げ

「こうのとり」5号機の補給キャリア与圧部。新たに標準輸送パック12個分の積載スペースが下部に増設された。

「こうのとり」5号機で運ばれる水パック。

宇宙ステーション補給機「こうのとり」5号機（HTV5）はH-ⅡBロケット5号機によって8月16日に打ち上げられ、約1週間後にISSにドッキングの予定です。

「こうのとり」は最大6トンの貨物をISSに運びます。補給キャリア与圧部と補給キャリア非与圧部という2つの貨物区画をもつのが特長で、船内用、船外用の両方の貨物を運ぶことができます。5号機では、気密が保たれた補給キャリア与圧部に積載スペースが増設され、標準輸送パックを12個余計に運べるようになりました。また打ち上げ直前に貨物を積載するレイトアクセスサービスも向上しています。

「こうのとり」5号機には小動物飼育装置、静電浮遊炉、高エネルギー電子・ガンマ線観測装置（CALET）などの実験・観測装置の他、日本の多目的実験ラック2とNASAのギャレーラックも運ばれます。また、20リットル入りのパック30個に入った合計600リットルの水も運ばれます。実験ラックのような大型装置や大量の水は、「こうのとり」でしか輸送できません。

「こうのとり」5号機はISSから分離する際、ISSの曝露部に設置されていた装置3個を積んで大気圏に再突入します。ISSでいらなくなった装置の廃棄でも、「こうのとり」は重要な役目を果たします。

「こうのとり」は大量の補給物資や大型の貨物を運べる上、これまですべてオンタイムで打ち上げた実績から、NASAをはじめISSのパートナーから大きな信頼を得ています。ISSは2020年までの運用が決まっており、「こうのとり」もISSへの補給任務を続けます。

PALSAR-2
2014

陸域観測技術衛星「だいち」とその後継機「だいち2号」のレーダが、南米、パラグアイで進む森林伐採の様子をとらえました。左は「だいち」搭載のPALSARによる2007年の画像、右は「だいち2号」搭載のPALSAR-2による2014年の画像です。森林が伐採された場所は黒っぽく見えています。どちらも同じ領域を見ており、時間の経過とともに伐採面積が増えている場所があることがわかります。

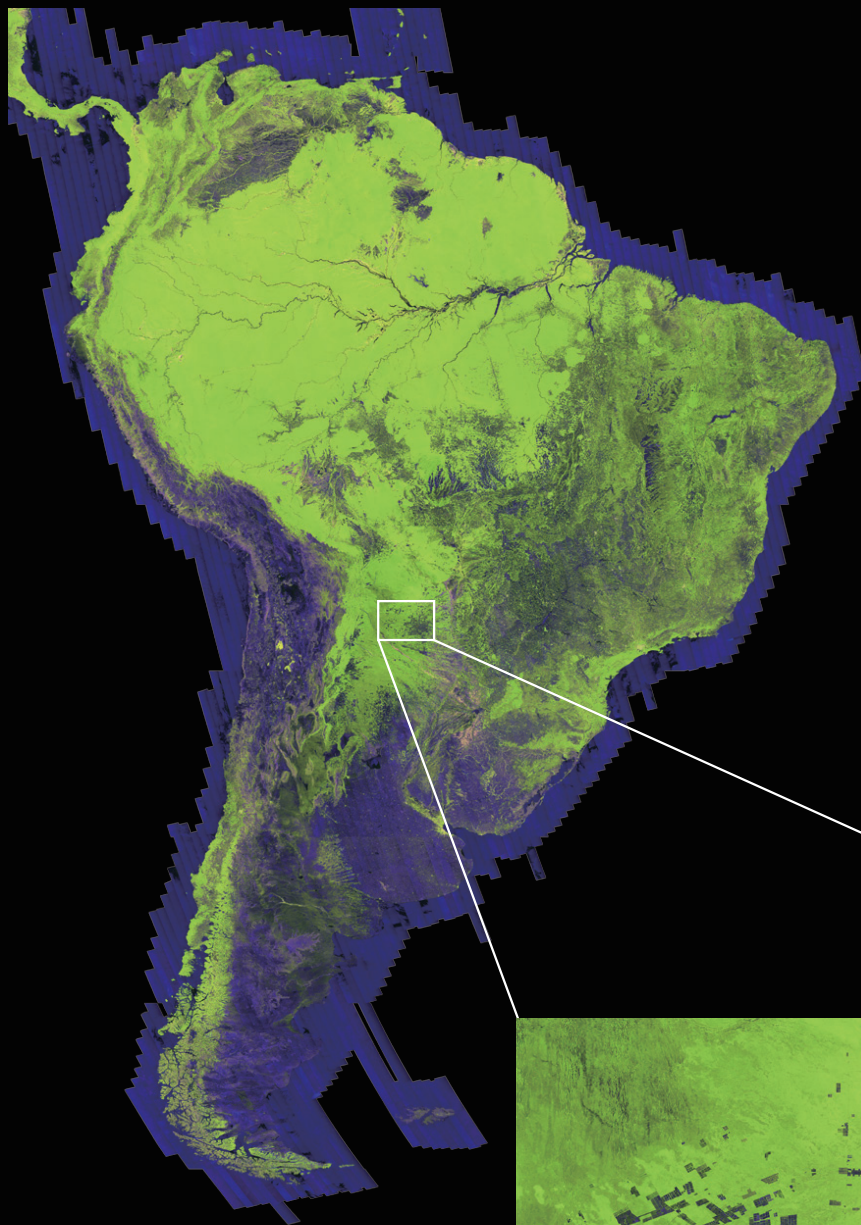
「だいち2号」は2014年5月24日に打ち上げられました。同年6月27日に初画像を公開し、同年11月25日にデータの定常配布を開始しました。まだ全球の観測を終えていないため、南米大陸全体の画像では、まだデータを取得していない場所が黒く抜けています。

PALSARやPALSAR-2はLバンドという波長の長い電波を使った合成開口レーダです。レーダには昼夜や天候を問わず観測できるという利点があります。またLバンドは、電波の一部が樹冠を透過して地面まで届くため、森林の状況を観測するのに適しています。「だいち」のPALSARは、ブラジルでの森林違法伐採の監視に大きな貢献を果たしました。

PALSAR-2では観測に使える電波の種類がさらに増え、より多くの情報が得られるようになります。例えば、森林の種類や高さが判別できるため、植林・間伐事業において樹種の分類や分布情報まで把握できるようになります。また、地球上の炭素量や森林のCO_2吸収量がより高い精度で推定できるようになります。

大地を「精密検査」し、暮らしの安全の確保、地球規模の環境問題の解決などをミッションの主な目的としている「だいち2号」は、世界各地で進む森林伐採や植生の変化を継続して観測していきます。

宙からとらえる

陸域観測技術衛星2号「だいち2号」
能力が大幅に向上したLバンド合成開口レーダPALSAR-2を搭載しています。衛星本体下の白い部分がPALSAR-2のアンテナです。

環境破壊の現状を宇

**宇宙から、広い範囲の様子を継続的に観測できる「だいち2号」は、
森林の違法伐採を監視するためにも活用されています**

高い信頼性を誇るH-ⅡA 改良を加え、世界で勝負！

産業振興　安全保障防災　フロンティアへの挑戦

H-ⅡAロケットは打ち上げ成功率96・4%という世界最高水準の信頼性をもつロケットです。H-ⅡAロケットは今後の多様な衛星打ち上げ需要へ対応し、海外の衛星打上げも受注できるよう国際競争力を高めることも求められています。こうした課題を解決するため、基幹ロケット高度化プロジェクトではH-ⅡAの第2段に対する改良が行われています。

取材：寺門和夫（科学ジャーナリスト）

遠地点で再々着火を行う
H-ⅡAロケットの第2段（CG）

国際水準の静止衛星打ち上げ性能を目指す

高度化プロジェクトの最大の課題は、静止衛星の打ち上げ性能の向上でした。

H-ⅡAで静止衛星を打ち上げる場合、これまではロケットで衛星を長い楕円形の静止トランスファー軌道に入れ分離し、地球から最も離れた遠地点で、衛星のエンジンを噴射して静止軌道に入れるという方法をとっていました。ロケットの第2段は、静止トランスファー軌道に入れるために高度250kmあたりで再着火し、燃焼を終えると、打ち上げから約30分後に衛星から切り離されます。

ところがこの方法では、赤道付近から打ち上げるアリアン5と比べて、静止軌道に投入する際に衛星の燃料をより多く使ってしまいます。種子島から打ち上げた静止トランスファー軌道は赤道面から28・5度傾いているため、静止軌道投入の際、軌道面を変更するためにも燃料を必要とするからです。

静止軌道に投入するために必要な「静止化増速量」で比較すると、アリアン5をはじめ海外のロケットの増速量は1500m／秒くらいですが、H-ⅡAでは1800m／秒を超えています。衛星の燃料は寿命に関係してきますから、同じ静止衛星を打ち上げる場合でも、H-ⅡAで打ち上げると衛星の寿命が短くなってしまいます。この問題を解決し、増速量を国際水準にもっていかなければ、海外の衛星を打ち上げる注文をとるのは困難です。

そこで考えられたのが、遠地点に到達するまで第2段を切り離さず長時間の慣性飛行（ロングコースト）を行い、遠地点で第2段エンジンを再々着火（第3着火）して、衛星を静止軌道により近い軌道に投入するという方法です。

衛星が行う増速の一部を第2段が担うこの方法なら、国際水準の増速量を実現できます。しかし、それには第2段を約5時間にわたって宇宙空間を飛行させなければなりません。高度化プロジェクトではそのための課題に取り組んでいます。

ここがスゴイ! 推進剤を有効活用してロングコーストを実現

ロングコーストを行い、遠地点で再々着火を行うには、推進剤を有効に活用しなければなりません。まず、液体水素の蒸発を抑えることが必要です。宇宙空間を5時間も飛んでいると、液体水素タンクは太陽光によって熱せられ、タンク内で水素が蒸発していきます。蒸発した水素は燃料として使えません。そこで、タンクに入る熱量が少なくなるように断熱材を白く塗ることにしました。

2012年5月に第一期水循環変動観測衛星「しずく」を打ち上げたH-ⅡAの21号機では、通常はオレンジ色の第2段の液体水素タンク表面の断熱材が白色だったことに気がついた方もいたと思います。実は、これはロングコーストの技術データ取得を行ったものでした。このフライトで得られた成果を元に、2014年12月に「はやぶさ2」を打ち上げたH-ⅡAの26号機では、白色の塗装が本格的に主ミッションの機能として適用されました。

宇宙空間で着火を行うには、直前に液体酸素でターボポンプを冷却しておく必要があります。ターボポンプの温度が高いと液体酸素が気化してしまい、エンジンに十分な液体酸素を送り込めなくなってしまいます。高度化プロジェクトでは、ロングコーストの間に液体酸素を少しずつ使って連続的に冷却する「トリクル予冷」という方法をとることにしました。これによって着火直前の冷却に必要な液体酸素の量を3分の1以下に低減することができます。トリクル予冷は2014年5月に陸域観測技術衛星「だいち2号」を打ち上げた24号機において、だいち2号分離後に技術データ取得を行い、性能が確認されました。この機能も、「はやぶさ2」の打ち上げにおいて、本格的に主ミッションの機能として適用されました。

ロケットが宇宙空間を慣性飛行している間、少なくなった液体水素と液体酸素をタンクの底部に保持しておく必要もあります。このために、従来は姿勢制御システム用のヒ

＜ペイロード搭載環境の向上＞

❶世界最高水準の衛星搭載衝撃環境を実現する衛星分離機構

＜飛行安全システム追尾系の高度化＞

❷地上レーダ局を不要とする機体搭載型飛行安全用航法センサ

＜長秒時慣性航行機能の獲得＞

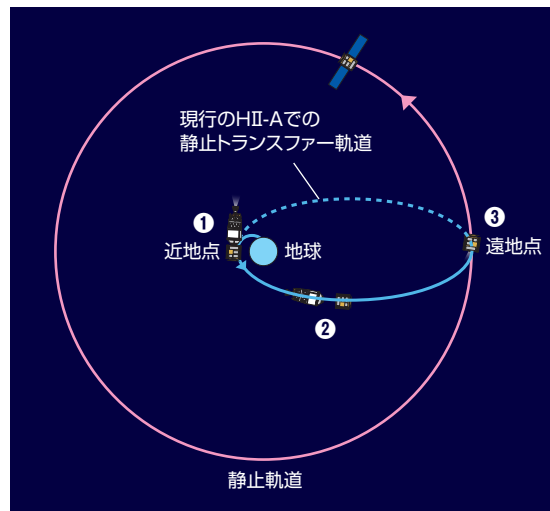
❸液体水素蒸発量を低減する液体水素タンク 遮熱コーティング

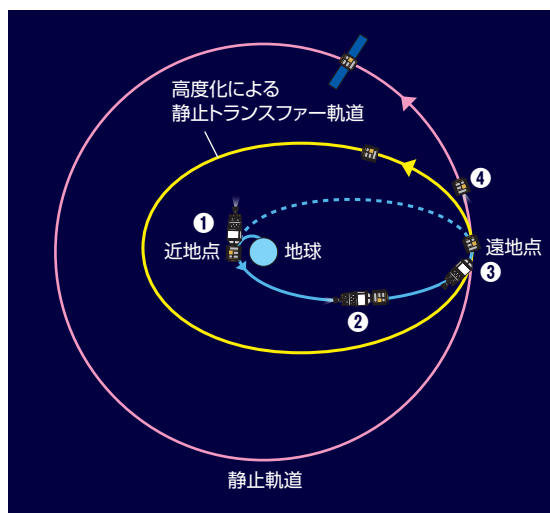
❹蒸発水素ガスを活用した推進薬リテンション･システム

❺液体酸素予冷消費量を低減する第2段エンジン予冷系統

❻無効推進薬量を低減する第2段エンジン･スロットリング機能

現行のHII-Aでの静止衛星の軌道投入

現行のHII-Aでの
静止トランスファー軌道
近地点
地球
遠地点
静止軌道

①近地点で第2段に再着火して増速、衛星を静止トランスファー軌道に投入する。
②第2段と衛星を分離する。
③遠地点で衛星が増速。静止軌道に入る。
静止トランスファー軌道は赤道面に対して28.5度傾いている。

高度化による静止衛星の軌道投入

①近地点で第2段に再着火して増速する。
②第2段と衛星を分離せず、ロングコーストを行う。
③遠地点で第2段エンジンを再々着火して増速。衛星を分離して静止トランスファー軌道に投入する。
④遠地点で衛星が増速。静止軌道に入る。
高度化による静止トランスファー軌道の赤道面に対する傾きは20度になる。

ドラジンを機体後方に噴射して保持を行っていました。これを「リテンション」といいます。高度化プロジェクトでは、このリテンションを長時間の慣性飛行中に蒸発した水素を有効活用し、機体後方から噴射することで行うことにしています。これによってヒドラジンの消費量を抑えることができます。

ロングコーストには、その他の課題もありました。

5時間もの間、搭載機器を正常に作動させるためには、機器の温度環境の制御も必要です。太陽光が一方向にばかり当たっていると、その部分の温度が上昇してしまいますし、深宇宙を向いている方向は温度がどんどん下がります。そこで、ロングコースト中には、衛星を太陽に対して垂直の姿勢にし、太陽光が入る方向を一様制御し、更にこれをゆっくりと回転させる熱制御手法（バーベキューロール）がとられました。搭載機器の温度環境を従来と同等に保つことに成功しています。

また、5時間も宇宙空間で飛行する間、電子機器の電源を確保するために、ロケットの打上げ環境に耐える大型のリチウムイオン電池が開発されました。更に、静止軌道の近くでエンジンの作動状況など機体のデータを取得するため、36000㎞でも通信が可能な高性能アンテナも開発されています。

ここがスゴイ! 再々着火の性能を確認

遠地点で行う再々着火では従来の100%の推力作動の場合、軌道に投入する誘導時間が確保できないため、エンジンの推力を絞って作動させる「スロットリング作動」を行います。推力を絞ってエンジンが正常に低推力で作動するか、実物大のエンジンを用いて真空チャンバーの中で燃焼試験が行われ、性能が確認されました。この試験はJAXAの角田宇宙センターで行われました。

ここがスゴイ! 衛星分離時の衝撃を世界最小レベルに

衛星を分離する際の衝撃を低減することも行われました。衝撃のレベルが大きいと、衛星側にそのための対策が必要になるので、衛星打ち上げを受注する際には、衝撃のレベルが低いことが重要です。H-IIAの分離時の衝撃レベルは約4000Gで、海外の商業衛星を搭載することが出来ませんでした。海外の多くのロケットでは2000Gくらいで、海外の商業衛星を打ち上げています。日本のロケットは、これまで火工品（火薬）の力で瞬時に締結しているボルトを切断して分離していました。これにより瞬間的にエネルギーが解放されるため大きな衝撃が発生します。そこで火工品を用いないラッチ式の装置が開発されました。エネルギー解放をゆっくり行うことにより、分離の衝撃を1000Gにまで低減しています。

ここがスゴイ! 地上のレーダ局を不要に

高度化プロジェクトでは、地上のレーダ局を必要としない飛行安全管制用の高精度航法センサも開発しています。これによって老朽化したレーダ局の更新や維持の費用を削減することができます。

H-IIAロケットの打上輸送サービス事業を行っている三菱重工業は、カナダのテレサット社から衛星の打上げを受注し、本年度に打ち上げる予定です。打ち上げに使われるH-IIAには、高度化によって開発された技術が反映されています。

DREAMSプロジェクト成果レポート
が取り組んだ5つの技術

2030年には、現在のおよそ2倍になると試算されている世界の航空交通量。そんな将来の航空交通に対応するため、2012年にスタートしたJAXAのDREAMSプロジェクトが終了、今年6月1日には報道関係者向けの成果報告会も開催されました。DREAMSプロジェクトが行った次世代の運航システムについての研究開発を紹介します。

安全保障
防災
産業振興
フロンティアへの挑戦

国土交通省「CARATS」と連携し5つの技術を研究開発

世界の航空交通量は、日本を含むアジア地域を中心に著しく需要が高まっており、今後20年間で航空需要は2倍を超える、と予測されています。

こうした中、2003年にICAO(国際民間航空機関)は、次世代の航空交通管理技術(ATM)を2025年まで実現することを目指し、「グローバルATM運用概念」を提唱。アメリカでは「NextGen」、ヨーロッパでは「SESAR」、そして日本では、国土交通省によって2010年9月に将来の航空交通システムに関する長期ビジョン「CARATS」が立ち上げられました。

DREAMSプロジェクトチームのプロ

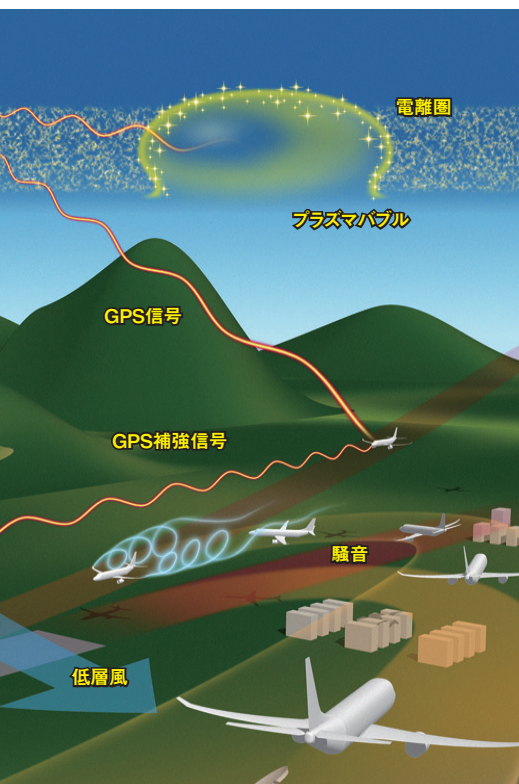
空港の交通量増大に対応する技術

無駄な待ち時間を減らして離着陸の間隔を短く「気象情報技術」

空港の処理能力を増大させるには、離着陸の間隔を縮めることが有効です。しかし、それを妨げているのが、旅客機後方に発生する後方乱気流。その影響を避けるため、先行機と後続機の離着陸間隔は、一律の規定が設けられています。しかし実際には後方乱気流は、風などの気象条件によって消滅するまでの時間が変わるため、無駄な待ち時間が生じている場合があるのです。

そこで、気象条件や航空機の機種などに応じた後方乱気流の動きを予測し、安全な間隔を算出、効率的な離着陸を実現する技術を開発しました。

また航空機が空港に着陸する際には、滑走路上空の乱気流(低層風擾乱)が着陸やり直しの原因になっています。そこで、低層風擾乱の状態を高精度で予測、そのデータを空港の運航支援者はウェブ上で視覚的に確認することができ、さらにパイロット向けに操縦席でも見られるよう文字のみでも確認可能にした「低層風擾乱アドバイザリーシステム(LOTAS)」を開発。LOTASの技術を適用し、気象庁と共同開発した「空港低層風情報(ALWIN)」は、気象庁によって実用化を展開、2016年度より成田空港での運用に向けて準備が進んでいます。

実運用中のコックピットの図
タイムリーに「ALWIN」からの風情報を受け離着陸間隔を埋める操縦が可能になった。

気象条件に合わせた経路で飛ぶから、騒音を広げない「低騒音運航技術」

航空交通量の増加に伴い、空港周辺の騒音も懸念されています。そこでDREAMSプロジェクトが研究開発したのは、気温や風など気象が与える影響を考慮し、地上に伝わる騒音を予測、気象条件に合わせて飛行経路を工夫する「低騒音運航技術」です。着陸便を対象に、現状のままの状態と、交通量が1.5倍になった場合の騒音をシミュレーションしました。その結果、低騒音運航技術が導入されれば、交通量が1.5倍になった際も現在と同じ程度ということが確認されました。

越岡康弘
KOSHIOKA Yasuhiro
DREAMSプロジェクトチームのプロジェクトマネージャをつとめた
JAXA航空技術部門
航空技術実証研究開発ユニット
ユニット長

ジェクトマネージャをつとめたJAXA航空技術部門航空技術実証研究開発ユニットの越岡康弘は、次のように語っています。

「46あるCARATS施策のうち、JAXAが貢献できる5つの技術とひもづけを行い、目標を定めました。開発のためにつくったアルゴリズムは、実証・評価され、プロジェクトは終了しました」

開発した技術は、国際基準への提案やメーカーへの技術移転を推進。すでに総務省消防庁や気象庁などへ技術移転し、実用化に向けた取り組みも始まっています。

DREAMSプロジェクトの成果をさらに発展させていく

すべての目標を達成して終了したDREAMSプロジェクトですが、この開発技術を社会で生かすための計画が、すでに進んでいます。

「CARATS施策への支援・貢献を続けていくほか、ICAOなど国際基準規格団体に向けた提案や、民間企業への技術移転も行っていきます。また防災・小型機運航技術のD-NETに関しては、より効率的な災害救助活動を可能にするD-NET2（災害救助航空機総合運用システム）の研究開発を始めています。成果のフォローアップを行なうとともに、社会利用を促進させるため、さらに発展させていく計画です」（越岡）

JAXAはこのプロジェクトの成果が世の中へ大きく羽ばたいていくことを、目指しています。

増大する航空交通量 JAXA

Distributed and Revolutionarily Efficient Air-traffic Management System

精度と信頼性が高い衛星航法を実現する「高精度衛星航法技術」

航空機には、GPS衛星による衛星航法装置が搭載されています。しかし電離圏の異常などによって、測位精度が低下する場合があります。

そこで、複雑化する航空経路を正確に飛行し、滑走路へ精密に着陸誘導するため、GPSと地上型衛星航法補強システムGBAS、そして電波を使用しない機上航法装置INS（慣性航法装置）を組み合わせた「高精度衛星航法技術」を開発。GPS信号の受信が困難な場合でも、GBASやINSと補強しあうことで、高精度な衛星航法の利用率を99%以上に向上させました。

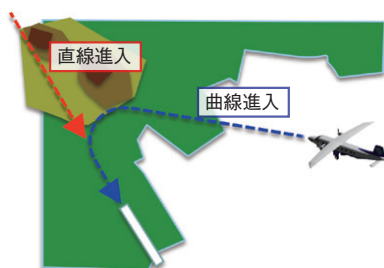
GPS衛星

D-NET

後方乱気流

自動操縦による曲線進入でパイロットの負担も軽く「飛行軌道制御技術」

滑走路に対して直線進入する場合、空港にILS（計器着陸システム）が設置されていれば、視界が悪くても自動着陸が可能です。しかし、地理的条件や住宅地への騒音の低減といった要因により滑走路へ曲線で進入する際は、パイロットが肉眼で滑走路を見て着陸する目視進入が取られます。そのため、視界不良の場合は欠航せざるをえません。

GPSだけでなく地上型衛星航法補強システムGBASを利用して衛星測位の精度を高め、曲線進路での自動着陸を可能にする技術が、GBASを用いた「飛行軌道制御技術」です。

進入経路を柔軟に生成

防災・小型機運行技術

神戸市の消防防災ヘリコプターに取り付けられたD-NET対応端末（写真左／提供:神戸市航空機動隊）と、災害時に機内に持ち込めるD-NET対応端末（写真右）

救助活動の効率化を図る「D-NET」

東日本大震災の際、全国から被災地に、最大で1日300機のヘリコプターが集結し、救援活動を行いました。しかし、災害対策本部や航空機との情報共有は、無線通信や災害対策本部内にあるホワイトボードを用いたものであり、効率的な対応が困難になる可能性をはらんでいました。

そこでJAXAが開発したのが、D-NET（災害救援航空機情報共有ネットワーク）です。航空機や災害対策本部等の間でやりとりされるデータの規格を統一し、情報共有を迅速に遂行。最適な任務をすばやく割り当て、安全で効率的な救助活動を可能にします。

実証実験では、従来の方法と比較して、任務情報の伝達時間を約7割低減できることが確認されました。

D-NETはメーカーへの技術移転による製品化が進められており、2014年4月には総務省消防庁に、D-NET対応の「集中管理型消防防災ヘリコプター動態管理システム」を導入。全国の消防防災ヘリにもD-NETの技術が使われ始めています。

ご長寿衛星

「あけぼの」「TRMM（トリム）」

寿命を大きく超えて活躍したふたつの長寿衛星

**磁気圏観測衛星「あけぼの」と、熱帯降雨観測衛星「TRMM」。
当初の目標寿命を大幅に超えた
長期ミッションを終えたふたつのベテラン衛星の、
これまでの役割と意義についてご紹介します。**

フロンティアへの挑戦
産業振興
安全保障防災

ふたつのベテラン衛星がついに現役引退へ！

オーロラ現象の観測などを行う磁気圏観測衛星「あけぼの」は、1989年2月22日に打ち上げられました。以来、当初の目標寿命1年を大幅に超えた約26年という長期にわたり観測業務を行ってきましたが、2015年4月をもって運用を終了しました。

「あけぼの」打ち上げの8年後、1997年11月28日に打ち上げられた熱帯降雨観測衛星「TRMM」も、設計寿命の3年を遥かに超える17年と半年あまりの長期にわたり、熱帯・亜熱帯の降雨の観測を行い、2015年4月をもって運用を終了しました。

人工衛星の寿命が普通数年であることを考えると、「あけぼの」「TRMM」の運用期間がいかに長いものであるかがわかります。

このふたつの衛星のはたしてきた役割について、振り返ってみましょう。

先進の技術と長期観測が次世代に繋ぐもの

「あけぼの」は「極域のオーロラ現象観測」を長期間行うことによって、オーロラ電子の生成機構について統計に裏打ちされた普遍的な結論を導き出しました。また、ヴァン・アレン帯（放射線帯）の観測を太陽活動（1周期約11年）の2周期以上にわたって行い、太陽の状態の変動に伴うヴァン・アレン帯の変動を明らかにするという重要な成果をあげてきました。

「あけぼの」に使われた耐放射性技術は、当時はじめてのもので、地球をとりまく放射線帯の中でも機器が壊れることなく観測を行うことを可能にしました。また、衛星の表面には電気をよく通し、帯電を防ぐ処理がほどこされており、これら技術は後の衛星にも受け継がれています。特に磁気圏尾部観測衛星「GEOTAIL」が世界トップレベルの静穏な環境で観測できるのは、この「あけぼの」で培われた電磁適合性の技術が生かされているからです。

「TRMM」は、熱帯域の降雨観測と全地球規模の水・エネルギー循環のメカニズムの解明を目的に、日米が初めて共同で行った地球観測ミッションです。衛星開発と運用はNASA、搭載する降雨レーダーと打ち上げは日本という役割分担で行われました。

JAXAが情報通信研究機構（NICT）の協力を得て世界で初めて開発した衛星搭載降雨レーダーによって得られた高品質三次元降雨観測データは、気象予想の向上やハリケーンの進路予測の改善、洪水・地すべり等の予警報システムのデータなど実利用分野にも多大な貢献をはたしました。その成果は、現在のGPM（全球降水観測計画）主衛星に搭載されている二周波降雨レーダー（DPR）に生かされています。

長期ミッションを終え、ついに現役を退く「あけぼの」「TRMM」。これから行われるさまざまな衛星ミッションにおいても、このふたつの衛星のように、観測データを有効に活用し、実社会の中で一層役立てていくことが、JAXAの使命であると考えています。

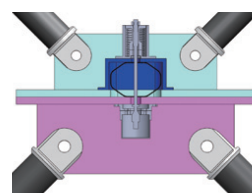
次世代赤外線天文衛星 SPICA の 断熱放射冷却構造

望遠鏡を丸ごと -265℃以下に冷やします

軌道上のSPICAの予想図

多くの成果をあげた赤外線天文衛星「あかり」につづき、新次元の高感度赤外線観測を目指す宇宙望遠鏡「SPICA」。この望遠鏡に採用される新しい構造設計技術をご紹介します

取材:山村紳一郎(サイエンスライター)

45cmほどの長さのパイプを組み合わせたトラス構造で望遠鏡を支える。

分離機構動作前(打ち上げ時)

分離機構動作後(軌道上)

径の異なる3本の筒を“入れ子”状に接着した3重構造のトラスパイプ。微妙に直径が変化して、端だけでつながる。外側の薄いアルミ層は最外パイプと一体成型され、断熱効果をより高めている。

3重構造のトラスパイプで、省スペースな高断熱構造を実現

銀河の誕生や進化、あるいは惑星形成過程の解明には、高感度の赤外線観測が不可欠です。そのためには大気の影響を避けて宇宙空間に出るだけでなく、自らが発する赤外線のノイズを減らすため、望遠鏡自体を冷却する必要があります。「あかり」など従来の赤外線宇宙望遠鏡では、液体ヘリウムなどの冷却剤を大量に搭載していました。SPICAでは冷却剤を用いず、望遠鏡を丸ごと-265℃(絶対温度で8K)以下の極低温に冷却する“新・宇宙用冷却システム”を採用します。

「このような冷却システムがこれまで宇宙で使われたことがありません。非常に斬新で、技術的チャレンジなんです」(水谷研究員・以下同)

新システムの要ともなりえるのが、望遠鏡を支えるカーボン素材のトラスパイプ。3重に折り返された構造とすることで外形寸法をほとんど変えずに熱の伝わる長さを長くし、限られた空間における断熱性能を効率的に高めます。さらに日本が戦略的に開発してきた機械式冷凍機と組み合わせ、世界最高の冷却性能を実現します。「打ち上げに耐える強度の実証など課題もありますが、現実的な形が見えてきました」

分離機構ですき間をつくり、熱伝導をシャットアウトする

打ち上げ後に作動してトラスパイプの接合部にすき間を作る、バネを使った分離機構も開発が進んでいます。絶対零度に近い宇宙の環境では、伝導熱の影響が非常に大きいので、切り離すだけで絶大な断熱効果があるのです。

「要求される機能を満たすため、切り離すバネの材質や形状などには、独自の工夫があります。バネを介することで、観測機器に伝わる微小振動を低減するという副次効果もあります」

このような徹底した熱の遮断や微小振動低減の技術ノウハウは、今後、SPICA以降の高精度観測衛星に必要な技術要素を提供します。また地上でも、リニア新幹線など超伝導のために極低温が必要な技術への応用も、期待されています。

「製造過程をはじめ、素材や加工の面で新しいノウハウが生まれています。波及効果を含めると、技術立国日本の大きな財産になると思います」

科学成果だけでなく技術面でも世界をリードする「SPICA」は、2025年以降の打ち上げ目指し、日欧中心の国際協力ミッションとして着々と開発が進められています。

水谷忠均
MIZUTANI Tadahito
研究開発部門
第二研究ユニット
研究員

「専門分野は複合材料構造の構造ヘルスモニタリングで、航空機などへの応用を研究していました」という水谷さん。
「科学研究に携わるメンバーとのコミュニケーションをとりながら実際の衛星技術に結びつけてミッションを実現するあたりが、この仕事の醍醐味でもあります」

大学生が見た！「はやぶさ2」の最前線

大注目の「はやぶさ2」に関わる人は、誰もが熱い想いを持っていた！

今回私たちは「はやぶさ2」に関わる方がたの魅力に迫るべく、NEC宇宙システム事業部大島プロジェクトマネージャー（以下大島PM）、JAXA相模原キャンパスで「はやぶさ2」のイオンエンジンを担当している細田研究員、更に長野県の臼田宇宙空間観測所では、山本所長をはじめ「はやぶさ2」の運用に携わる方がたに取材をした。

役割と信頼の厚さ

大島PMは、基本的に、部下には自由にやらせるタイプで、部下が行き詰まったフェーズやどうしてもというところにのみ手を貸していたという。だが、細田研究員の「前に進まなければならないのに赤信号が変わらない、そんな状況を切り開いてきたスゴイ人」という言葉からも、大島PMがいくつもの困難を乗り越えてきたことが伺える。

ミッション成功にかける思い

前回「はやぶさ」で成功できなかったミッション、今回新たに立ち上がったミッションが成功すれば、惑星や太陽系の成長過程の解明、小惑星探査の発展につながる。大島PMも「達成出来れば私の人生は良かったと言える」というように「はやぶさ2」にかける想いは大きい。模型を用いて解説する姿からも、本当に「はやぶさ2」が好きであることが伝わってきた。

記憶がないぐらいに忙しい日々

納期は絶対守らなければならない。それは地球規模ではなく、宇宙規模であるという点を除いては普通の社会人と変わらない。打ち上げ時刻は秒単位で決まっており、昼夜を問わず研究に明け暮れたという。1gでも機体が軽くなるように、1秒でも長く強くエンジンが動くように。そこに無駄なんて一つもつくれない。それをいかに実現するか、幾度も実験が繰り返されてきた。細田研究員が語る、数々の開発エピソードには完成までの苦労がにじんでいた。

光なんて遅すぎる

「はやぶさ2」の運用管制室を解説しながら細田研究員はこう語った。「はやぶさ2」と運用者が光のスピードで「会話」をしたとしても、何分もかかる。光速は決して速くはない、宇宙に携わる人間の常識に衝撃を受けた。

上:「はやぶさ２」の模型をベースに解説する大島PM
中:「はやぶさ２」の運用管制室
下:研究に明け暮れた当時を語る細田研究員

10年後20年後まで使いたい

遠く旅する深宇宙探査機から観測データを受信し動作指令を送信する、日本最大にして唯一の観測所が長野県のJAXA臼田宇宙空間観測所である。施設の中核をなす直径64mの大型パラボラアンテナはまさに圧巻の一言であった。過去はハレー彗星探査試験機「さきがけ」から、現在は小惑星探査機「はやぶさ2」まで観測を受け持っている。その「さきがけ」の頃から運用の一端を担っている山本所長は「好きでやってるから続けられる。10年後20年後まで使いたい」と語る。日本で唯一深宇宙と、繋がっているここが完全停止することは許されないのだ。「雪の朝が特に大変。落雪に注意しながらアンテナのレールに張った氷を砕く。」苦労話を語る山本所長の顔はとても誇らしげであった。

上:アンテナを解説する山本所長　下:アンテナ局で働く人たち

「はやぶさ2」を支える人々

「はやぶさ2」からの信号電波はアンテナで受信され、光ケーブルによって研究棟に送られる。中では相模原の管制センターとやり取りをしつつ、「はやぶさ2」との交信が行われていた。そこで働くひとり、土井さんは「責任が大きく、勤務時間もバラバラ。でも続けてこられたのはやっぱりこの仕事が好きだから」と話す。「はやぶさ2」を支えるのは、遠くても雪の日でも毎日アンテナ運行のために働く、通信や機械のプロフェッショナル達である。

「はやぶさ2」への誇り

本取材で強く感じたことは、「はやぶさ2」に関わる人たちの前向きな姿だった。多くの作業が手探りという過酷な環境下でありながらも、誰もが本当にキラキラとした瞳で自分の仕事を語る。一人ひとりが仕事に誇りを持っているからこそ、私たちは彼らの姿からその熱い想いを感じ、その一つの結晶である「はやぶさ2」からも、自然とこみ上げてくるものがあるのだ。

取材ランチ

この日のランチはJAXAの食堂でスペースピラフ☆見た目も味もgood!

この記事はタウンワークの激レア宇宙バイトで募集したアルバイトが取材、作成しました。

Astronomy-Space Test

天文宇宙検定

第5回

さぁ！天文宇宙博士を目指そう！

試験日 2015年10月11日（日）

申込締切日　9月8日（火）

実施エリア▶東京・名古屋・大阪・福岡・沖縄（名護市）
受験料▶１級：6,200円　２級：5,700円　３級：4,600円　４級：4,100円　※併願・ペア・団体割引あり
詳細はWebで▶http://www.astro-test.org/

主催：㈳天文宇宙教育振興協会　協力：天文宇宙検定委員会　㈱恒星社厚生閣

協賛：京都産業大学　㈱セガトイズ　㈱ビクセン　丸善出版㈱
後援：千葉工業大学　㈶日本宇宙少年団　㈶日本宇宙フォーラム

天文宇宙検定　公式テキスト・参考書・問題集

★公式テキスト

各Ｂ５判・フルカラー・定価（本体1,500円+税）

2級　銀河博士　改訂版　7月中旬発売予定
幅広い知識が身につく一冊。　対象：高校生～

3級　星空博士　改訂版　7月中旬発売予定
教養としての天文学の入門書。対象：中学生～

4級　星博士ジュニア　好評発売中！
天文学の基礎を学べる本。　対象：小学校高学年～

★公式問題集　好評発売中！

各Ａ５判・2色刷り・定価（本体1,800円+税）

過去問題・予想問題と解説を掲載。

1級　天文宇宙博士
2級　銀河博士
3級　星空博士
4級　星博士ジュニア

★１級公式参考書　『超・宇宙を解く―現代天文学演習』好評発売中！

Ｂ５判・定価（本体5,000円+税）　福江 純・沢 武文 編

★公式問題集アプリ　好評発売中！

http://ukaru-app.com

恒星社厚生閣　TEL：03-3359-7371　FAX：03-3359-7375　http://www.kouseisha.com/

NEWS

スペースドーム リニューアルオープン

2010年7月にオープンした筑波宇宙センター展示館スペースドームは、5年目の節目にあたり宇宙開発の姿をよりリアルに伝え理解を深めて頂けるようリニューアルを致しました。
軌道を切り口としてロケットや衛星の宇宙空間での動きをリアルにイメージできる床面大型映像オービタルビジョンや、2014年幕張での宇宙博での「きぼう」日本実験棟を新たに展示し、実物さながらに体感できます。
内覧会では星出飛行士による記者向けの説明が行われました。

発行責任者●JAXA
（国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構）
広報部長　上垣内茂樹
編集制作●株式会社ビー・シー・シー
2015年7月1日発行

『JAXA's』配送サービスをご利用ください。

ご自宅や職場など、ご指定の場所へ『JAXA's』を配送します。本サービスご利用には、配送に要する実費をご負担いただくことになります。詳しくは下記ウェブサイトをご覧ください。

http://fanfun.jaxa.jp/media/jaxas/index.html

JAXA Explore to Realize
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650　FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/